

Artículo original

SIMULANDO CRECIDAS EN RÍOS Y CANALES UTILIZANDO COMPUTADORAS

SIMULATING FLOODING IN RIVERS AND CHANNELS USING COMPUTERS

Guillermo SENTONÍ⁽¹⁾, Ariel FRAIDENRAICH⁽¹⁾⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidad Nacional de La Matanza

⁽¹⁾⁽²⁾ Universidad Nacional de Tres de Febrero

Resumen: Se trata el problema de las inundaciones recurriendo al uso de simulación por computadora y la realización de experiencias en un laboratorio de hidráulica. La finalidad es brindar a la comunidad una respuesta en cuanto al control de las crecidas o al menos tratar de reducir los riesgos humanos y las pérdidas materiales que provoca este tipo de fenómenos.

Palabras claves: *Método de los elementos finitos, Taylor- Galerkin, frontera móvil, control de crecidas.*

Abstract: The flooding problem is addressed using computer simulations and hydraulics laboratory experiments. The objective is to give to the community an answer with regard to inundation control or to reduce at least the human risk and material loss caused by these events.

Keywords: *Finite element method, Taylor-Galerkin, moving boundary, flood control.*

Introducción

Las inundaciones provocan daños humanos y materiales por lo cual es de especial relevancia estudiar el fenómeno de manera de proponer soluciones que controlen o alivien dichos efectos (Cozzolino, Cimorelli, Covelli, Della Morte, Pianesa, 2015). Se propone realizar programas computacionales que representen las soluciones con cauce fijo y frontera móvil (Heniche M., Secretan Y., Baudreau P., Leclerc M, 2000) para poder efectuar el control de crecidas y el diseño de estructuras aliviadoras. Existen diversos tipos de estructuras de regulación de las crecidas. Entre ellas obras de vertedero lateral y desvío de ríos. La crecida puede evacuarse rápidamente mediante la ubicación estratégica de un vertedero lateral (Sanders, Katapodes, 2000). La construcción de vertederos es una obra masiva que requiere una gran inversión en dinero y en tiempo de construcción. También influyen en las condiciones del medio ambiente pues provocan fuertes cambios en las condiciones climáticas que hay que prevenirlas e incorporarlas en las condiciones de diseño. Por otro lado, el desvío y cambio de dimensiones de los ríos para que las descargas sean más suaves es una solución difícil de implementar. Normalmente existe

una población alrededor de los ríos y dicha población puede ser perjudicada.

En este caso se opta por la primera alternativa que consiste en crear una política de control de inundaciones. Dicha política de control estará basada en la resolución del problema de aguas poco profundas bidimensionales con contornos móviles y cauce fijo que además abarque cualquier dominio geométrico como sucede en la realidad.

Enfoque de resolución

Se utilizan tres ecuaciones físicas independientes de conservación para computar tres variables independientes como son las alturas y componentes de las velocidades resueltas con el método de los elementos finitos de Taylor Galerkin. Esta metodología se basa en la resolución en el dominio espacial por Galerkin y en el avance temporal por medio de un desarrollo de Taylor hasta segundo orden. Con el objetivo de resolver las ecuaciones físicas, el programa consta de dos partes:

- *La primera* es la resolución de las ecuaciones que intervienen en la física del problema. Esta etapa es llamada problema directo y resuelve la propagación de una onda de creciente. Se

quiere encontrar la evolución de las alturas y de las velocidades en todo el dominio espacial y temporal.

- *La segunda* es la resolución del problema de control y optimización (Sanders y Katapodes, 2000). Se busca la sección lateral más desfavorable para la operación de la obra de control. El parámetro fundamental del vertedero es el caudal de diseño. Este expresa el exceso de crecida respecto de una altura límite fijada con anterioridad por cuestiones de seguridad.

Validación de la solución del problema directo

De todas las experiencias numéricas se trataron dos fundamentales. Propagación de una onda de choque y propagación de una onda solitaria (soliton). En ambos casos se consideró un canal rectangular con pendiente uniforme topográfica y cauce fijo. La pendiente uniforme es considerar una distribución de fondo del cauce que varía linealmente en forma bi dimensional (Bates, 2003)

Para la onda de choque se comprobó la eficiencia de la solución del programa mediante la comparación con los resultados de la literatura numérica publicada hasta el momento (Löhner, Morgan, Zienkiewicz, 1984). Este problema tiene particular

importancia porque muestra que se capturan las ondas de choque como consecuencia de la introducción numérica de una viscosidad artificial (se va suavizando la discontinuidad original en el tiempo).

En cuanto a la onda solitaria los resultados obtenidos mediante la metodología propuesta coincidieron con aquellos dados por la literatura conocida (Zienkiewicz, Taylor, 2005). En este caso se simuló la propagación de una onda dinámica o “soliton” que entra a contrapendiente y choca elásticamente contra el borde cerrado izquierdo.

La solución se da en diversos instantes de tiempos de propagación de dicha onda.

Además ambos resultados numéricos se tratarán de comprobar experimentalmente en el laboratorio de hidráulica.

Se hicieron otros ensayos numéricos relevantes para comprobar la introducción de los términos fuentes en las ecuaciones de conservación de la proyección de la cantidad de movimiento.

Por ejemplo la introducción del efecto de resistencia de Manning, del efecto de Coriolis (Awruch, 1983) y de la introducción de la fuerza del viento en la superficie libre, además de las fuerzas viscosas (Varela, 1997). También se ensayaron computacionalmente distintas situaciones donde se introdujeron

fuerzas viscosas artificiales. Estas fuerzas son ficticias y sirven para amortiguar las ondas de choque que se producen cuando se usan estas ecuaciones de conservación.

Además se hicieron otras pruebas numéricas densificando la red de elementos finitos

Ventajas y desventajas de la propuesta computacional

La resolución explícita es más simple de implementar. La solución explícita es cuando el sistema de ecuaciones lineales es desacoplado y se puede despejar las incógnitas sin resolver el sistema lineal en su totalidad. En cada paso temporal el sistema de ecuaciones se resuelve con una matriz diagonal concentrada y no requiere de su resolución implícita (matriz principal acoplada y densificada) que sería bastante más complicada. Se modeliza tanto la solución directa como la inversa con un solo programa en elementos finitos, metodología que, hasta donde se conoce, no fue tratado de esta manera. La dificultad está en introducir la difusión artificial equivalente a la utilización de la técnica de limitadores de flujos que se aplica con diferencias finitas.

La utilización de la metodología de los elementos finitos es favorable en cuanto a la modelización de dominios irregulares y condiciones de borde difíciles de introducir.

En la literatura (Sanders, Katapodes, 2000), generalmente, la modelización computacional del problema directo se realiza con elementos finitos y el problema de control se modeliza con diferencias finitas. Como desventaja, el paso temporal que resulta para el avance de la onda en el tiempo queda muy limitado y necesita gran cantidad de memoria para resolver eficazmente el problema (Pacheco, 2011).

Actividades de extensión Nacional e internacional

Se está gestionando un Convenio Marco Nacional con el FCEIA ((Facultad de Ciencias Exactas y Agronomía), (Universidad Nacional de Rosario)) para realizar experimentos en el laboratorio de Ingeniería Hidráulica y así poder darle al trabajo más consistencia científica. También se está gestionando otro Convenio Marco Internacional con el CRCN (Centro Regional de Ciencias Nucleares del Nordeste, Recife, Brasil) con el objetivo de realizar una mejora de las herramientas informáticas necesarias para este trabajo (Pacheco, 2011). Ya está firmado.

Referencias

- 1- Awruch, A. M. *Modelos Numéricos em Hidrodinâmica e fenômenos de Transporte Usando o Método os Elementos* Teses de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 1983.
- 2- Bates P. D., “Optimal use of high-resolution topographic data in flood inundation models”, *Hydrological Processes*, Vol. 17, pp. 537-557, 2003.
- 3- Cozzolino, L., Cimorelli L., Covelli, C., Della Morte, R., Pianesa, D., “ The Analytic solution of the Shallow Water equatons with partially open sluice Gates: The dam break problem”, *Advances in Water Resources*, Vol. 80, pp. 90-102, 2015.
- 4- Heniche M., Secretan Y., Baudreau P., Leclerc M., “A two-dimensional finite element drying-wetting shallow water model for rivers and estuaries”, *Advances in Water Resources*, Vol. 23, pp. 359-372, 2000.
- 5- Löhner, R., Morgan K., Zienkiewicz O. C., “The Solution of Non Linear Hyperbolic Equation Systems by the Finite Element Method”, Vol. 4, pp. 1043-1063, 1984.
- 6- Pacheco P. *An Introduction to Parallel Programming* - Peter Pacheco - Publisher: Morgan Kaufmann; 1 edition (January 21, 2011) - ISBN-10: 0123742609 ISBN-13: 978-0123742605
- 7- Sanders, B. F., Katapodes, N. D., “Adjoint Sensitivity Analysis for Shallow – Water Wave Control”, *Journal of Engeneering Mechanichs*”, Vol. 126, No. 9, pp. 909-919, 2000.
- 8- Varella, D. M. *Modelos Formulação Geral Explícita para a Solução de Escoamentos em Aguas Rasas*. Teses de Mestrado em Engenharia Oceânica, Universidade do Rio Grande, Brasil, 1997.
- 9- Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L. *The Finite Element Method*. 6 th Ed., Vol. 3, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2005.

Recibido: 2016-11-22

Aprobado: 2016-12-20

Datos de edición: Vol. 1-Nro. 2-Art. 3

Fecha de edición: 2016-12-30